

*Д.И. Исаев*

## ПРОЦЕССЫ СОРТИРОВКИ ДОННЫХ НАНОСОВ

*D.I. Isaev*

### RIVER SEDIMENT GRADING

*Донные наносы в процессе их движения под действием текущей воды подвергаются сортировке. Рассмотрены основные закономерности формирования гранулометрического состава донных отложений в зависимости от условий их генезиса. Предложена методика и разработан прибор, позволяющие выполнять детальные измерения гидравлической крупности отложений*

*Naturally river bed sedimentation are sizing by moving water. In this article, basic rules of settled sediments genesis are considered. The method and corresponding equipment for detailed sedimentation measure in a quantitative sense have been developed.*

Смена фаз гидрологического режима, поступление твердого материала с притоков, аккумуляция наносов в застойных зонах – все это приводит к весьма пестрому гранулометрическому составу донных отложений в русле реки [Копалиани, 1984]. В процессе движения русловых микро- и мезоформ такое разнообразие крупностей наносов начинает приобретать определенные закономерности.

Принято выделять стрежневую, прибрежную, русловую, пойменную и другие фации аллювия. Наблюдается различие также и в составе наносов в различных частях русловых мезоформ. Критерии такого выделения весьма условны и субъективны. Представляется целесообразным разработать более универсальный критерий, позволяющий четко выделять долю донных наносов, непосредственно участвующих в движении при данных гидрологических условиях, а также судить о направлении русловых процессов на участке реки.

Это позволит уточнить расчеты расходов донных наносов. В настоящее время, как правило, используют осредненные характеристики для створа измерений – средний и характерный диаметр частиц различной обеспеченности. Вместе с тем разброс этих характеристик по сечению, как показывает анализ натурального материала, может достигать 100 % и более. В результате чего в расчете используются характеристики донных наносов, весьма далекие от тех, что реально формируются в активном слое, т.е. слое наносов, непосредственно участвующем в движении.

В качестве такого критерия предлагается использовать некоторые закономерности строения кривых распределения гранулометрического состава [Исаев, 2001].

В период с 1994 по 2006 г. нами было произведено изучение состава донных отложений на устьевом участке р. Невы, в верховьях р. Оредеж (ограниченное меандрирование), ручье Иленка (побочневый тип руслового процесса), на баровой отмели р. Луги в Лужской губе, пляже парка имени 300-летия Санкт-Петербурга, а также исследованы гряды, полученные в лабораторных лотках ЛВИ РГГМУ. При проведении натурных работ отбор проб выполнялся пробоотборником ГР-92, по площадям, с учетом характера размещения русловых мезоформ. Работы выполнялись в различные фазы водного режима.

При проведении лабораторных экспериментов процессы перемещения донных наносов и образования русловых микроформ фиксировались на цифровую видеокамеру, отбор проб на гранулометрический анализ производился вручную, послойно из тела гряды. Пробы обрабатывались как принятыми в гидрологии стандартными методами, так и с помощью разработанного на кафедре гидрометрии РГГМУ прибора ШГ-1м для анализа проб донных отложений. Для более детального анализа проб донных отложений на кафедре гидрометрии был разработан прибор для определения гидравлической крупности наносов. Принцип действия прибора основан на взвешивании частиц пробы в восходящем водном потоке. Принципиальная схема прибора приведена на рис. 1.

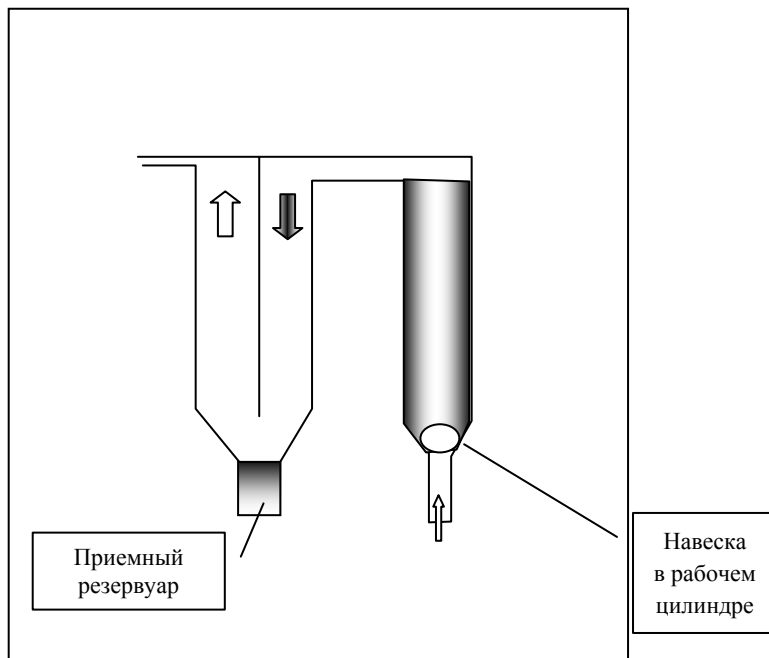


Рис. 1. Принципиальная схема прибора для измерения гидравлической крупности донных отложений.

Под действием текущей воды частицы навески взвешиваются в рабочем цилиндре. При этом часть частиц, гидравлическая крупность которых менее скорости потока в рабочем цилиндре, выносится за его пределы и осажается в приемном резервуаре. Процентное содержание каждой фракции определяется по высоте столба отложений этой фракции в приемном резервуаре. Диапазон измеряемых частиц по данным испытаний составил 0,02 – 5 мм, а точность измерения (в пересчете на диаметр)  $\Delta d = 0,02$  мм. Преимущество использования прибора заключается также в возможности непосредственного определения величины гидравлической крупности наносов, что избавляет от необходимости учета различной плотности и формы наносов.

Как показали лабораторные и натурные эксперименты, при упорядоченном движении наносов в активном слое формируется одноименная кривая гранулометрического состава (рис. 2), причем наблюдается смещение моды в сторону русловой фации аллювия. При процессах осаждения частиц (застойные зоны, зоны аккумуляции) высок коэффициент сортировки частиц, а на кривой гранулометрического состава наиболее полно представлена пойменная фация.

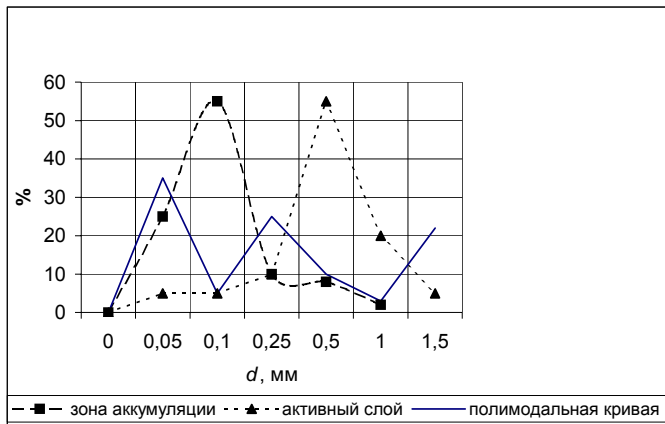


Рис. 2. Характерные кривые гранулометрического состава.

Полимодальная кривая характерна для неактивного (не участвующего в движении) слоя наносов либо для пробы, в процессе отбора которой был нарушен активный слой.

Сопоставление кривых гранулометрического состава речного аллювия и морских донных отложений в прибойных зонах Финского залива показали общность процессов сортировки речных и морских наносов. Так, для восточной части баровой отмели р. Луги характерно наличие хорошо сортированных алевритовых песков, что свидетельствует о преобладании процессов аккумуляции на морской акватории речных отложений. Анализ гранулометрического состава донных отложений насыпного пляжа парка имени 300-летия Санкт-Петербурга показал наличие глубже 2-метровой изобаты сортированных сред-

незернистых песков. Это позволило сделать вывод о том, что процессы перестроения береговой черты и бенча достаточно активны. К такому же выводу приводит и сопоставление разновременных съемок участка акватории.

Интересные результаты были получены для устьевой зоны р. Невы. Так, на участке реки вдоль Арсенальной набережной наносы распространены неоднородно. В ряде случаев по характерному звуку отмечалось наличие на дне крупной отмостки. Результаты лабораторных анализов приведены в таблице.

**Процентное содержание частиц различного диаметра в донных отложениях р. Невы**

Проба	Диаметр, мм												$d_{cp}$
	0 – 0,05	0,05 – 0,10	0,1 – 0,20	0,2 – 0,40	0,4 – 0,50	0,5 – 0,80	0,8 – 1,10	1,1 – 1,50	1,5 – 2,00	2 – 5,00	5 – 10,0	10 – 20,0	
1-я	0	1	7	3	0	0	0	0	0	88	0	0	3,12
2-я	0	1	44	48	1	2	0	1	1	2	0	0	0,32
3-я	0	0	5	92	2	1	0	0	0	0	0	0	0,30
4-я	0	0	1	97	1	0	0	0	0	0	0	0	0,31
5-я	0	0	0	0	0	1	1	7	19	72	0	0	2,95
6-я	0	0	0	1	0	1	1	4	9	84	0	0	3,16

В точке отбора № 1 у левого берега, а также в точках № 5, 6 у правого берега донные наносы представлены крупнозернистым песком – галькой со средним диаметром 2,9 – 3,1 мм и с высокой степенью сортировки. В точках № 3 и № 4 доминируют среднезернистые пески со средним диаметром 0,3 мм, также с высокой степенью сортировки. Вероятнее всего пробы взяты с напорного склона перекошенной в плане гряды. В пробе № 2 имеются частицы наносов крупностью от 0,05 до 5 мм, при этом максимальная обеспеченность в 92 % приходится на более широкий диапазон крупностей от 0,1 до 0,4 мм. Наличие мелкой фракции в пробе № 2 может быть объяснено как особенностями скоростного поля течений, так и влиянием выпуска сточных вод у левого берега.

Серия лабораторных экспериментов была направлена на изучение механизма сортировки наносов при грядовом режиме перемещения. Эксперименты проводились в гидравлических лотках ЛВИ РГГМУ. Лотки наполнялись смесью белого кварцевого песка крупностью 0,03 мм и просеянного карьерного песка крупностью 1,5 мм. Процесс образования гряд фиксировался на цифровую видеокамеру. Одновременно проводились измерения скоростей течения микровертушкой. Приборы позволяли измерять и записывать скорость течения 1 раз в секунду.

В результате анализа результатов экспериментов были сделаны следующие выводы:

- Крупные частицы диаметром 1,5 мм перемещаются по напорному склону гряды сальтацией и скапливаются в нижней части ее подвала.

- Мелкие частицы двигаются по гряде значительно медленнее, образуя микросообщества (в наших опытах – размерами 3 – 4 мм). Такое поведение мелких частиц объясняется тем, что их диаметр сопоставим с толщиной придонного ламинарного подслоя и для них значимыми являются межмолекулярные силы.

- Сброс мелких частиц в подвалье гряды происходит дискретно, по мере накопления масс этих частиц на гребне. В результате этого образуется характерное слоистое строение гряд. Введение красителя (KMnO<sub>4</sub>) в тело гряды позволило наблюдать распределение давления и течения внутри гряды (рис. 3). Полученная нами схема движения воды внутри гряды полностью совпадает с кривыми давления, полученными Раудкиви.

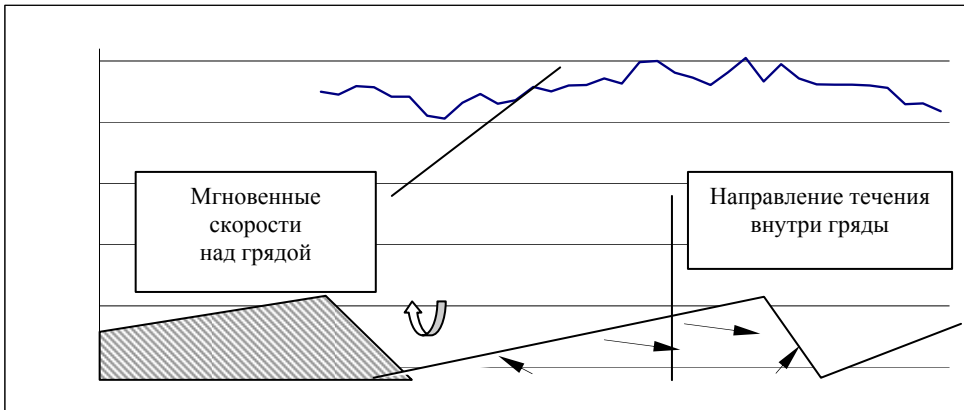


Рис. 3. Схема течений внутри гряды.

Предварительный анализ полученных результатов позволяет говорить о подобии кривых распределения турбулентных характеристик потока и кривых гранулометрического состава активного слоя.

### **Литература**

1. Исаев Д.И., Немчинов К.В. Процессы сортировки донных наносов / Итоговая сессия уч. совета РГГМУ. Информ. материалы. – СПб.: изд. РГГМУ, 2001.
2. Копалиани З.Д. Лабораторные исследования закономерностей перестроения состава наносов на размываемых моделях речных русел // Тр. ГГИ, 1984, с. 70–81.